

## LIGHTING OPTICAL DEVICE, EXPOSURE APPARATUS AND EXPOSURE METHOD

Publication number: JP2005108925 (A)

Publication date: 2005-04-21

Inventor(s): HIROTA HIROYUKI; SHIGEMATSU KOJI +

Applicant(s): NIPPON KOGAKU KK +

Classification:

- International: G03F7/20; H01L21/027; G03F7/20; H01L21/02; (IPC1-7): G03F7/20; H01L21/027

- European:

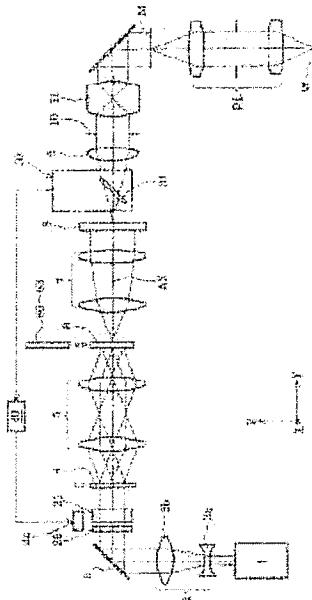
Application number: JP20030336870 20030929

Priority number(s): JP20030336870 20030929

### Abstract of JP 2005108925 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a lighting optical device which detects the state of polarization of illumination light, based on a comparatively simple and compact configuration. ; SOLUTION: The lighting optical device which illuminates a irradiated surface (M, W) with a light from a light source (1) is equipped with a beam splitter (31) which is arranged in an optical path between the light source and the irradiated surface, and takes out a reflected light (or transmitted light) in a state of polarization different from a state of polarization of an incident light; and a light intensity detector (33) for detecting the intensity of the reflected light (or transmitting light) taken out from the optical path by the beam splitter. The state of polarization of an incident light to the beam splitter is detected, based on the output of the light intensity detector. ;

COPYRIGHT: (C)2005,JPO&NCIPI



Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-108925

(P2005-108925A)

(43) 公開日 平成17年4月21日(2005.4.21)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
H01L 21/027  
G03F 7/20

F 1  
HO 1 L 21/30 5 1 5 D  
GO 3 F 7/20 5 2 1

テーマコード (参考)  
5 F 0 4 6

審査請求 未請求 請求項の数 13 O.L. (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2003-336870 (P2003-336870)  
(22) 出願日 平成15年9月29日 (2003. 9. 29)

(71) 出願人 000004112  
株式会社ニコン  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(74) 代理人 100095256  
弁理士 山口 孝雄

(72) 発明者 廣田 弘之  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 重松 幸二  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

F ターム (参考) 5F046 CA04 CB01 CB05 CB07 CB10  
CB12 CB13 CB15 CB19 CB23  
DA14 DB01 DC02

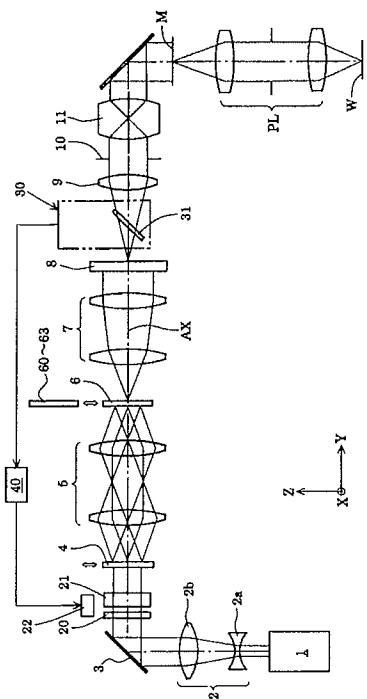
(54) 【発明の名称】 照明光学装置、露光装置および露光方法

(57) 【要約】

【課題】 比較的簡素でコンパクトな構成に基づいて照明光の偏光状態を検知することができる照明光学装置。

【解決手段】 光源部（1）からの光で被照射面（M, W）を照明する照明光学装置。光源部と被照射面との間の光路中に配置されて、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光（または透過光）を光路から取り出すためのビームスプリッター（31）と、ビームスプリッターにより光路から取り出された反射光（または透過光）の強度を検出するための光強度検出器（33）とを備えている。光強度検出器の出力に基づいてビームスプリッターへの入射光の偏光状態を検知する。

【選択図】 図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

光源部からの光で被照射面を照明する照明光学装置において、

前記光源部と前記被照射面との間の光路中に配置されて、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光または透過光を前記光路から取り出すためのビームスプリッターと、

前記ビームスプリッターにより前記光路から取り出された前記反射光または前記透過光の強度を検出するための光強度検出器とを備え、

前記光強度検出器の出力に基づいて前記ビームスプリッターへの前記入射光の偏光状態を検知することを特徴とする照明光学装置。

10

## 【請求項 2】

前記ビームスプリッターは、前記反射光または前記透過光に含まれる P 偏光の強度  $I_p$  と S 偏光の強度  $I_s$  との強度比  $I_p / I_s$  が  $I_p / I_s < 1 / 2$  または  $I_p / I_s > 2$  の条件を満たすような反射特性または透過特性を有することを特徴とする請求項 1 に記載の照明光学装置。

## 【請求項 3】

前記ビームスプリッターと前記被照射面との間の光路中には、光の偏光状態を変化させる光学部材が配置されていないことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の照明光学装置。

20

## 【請求項 4】

前記光学部材は、萤石により形成された光透過部材であることを特徴とする請求項 3 に記載の照明光学装置。

## 【請求項 5】

前記ビームスプリッターは、平行平面板の形態を有することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

30

## 【請求項 6】

前記ビームスプリッターと前記光強度検出器との間の光路中に配置されて、前記ビームスプリッターに対する P 偏光成分および前記ビームスプリッターに対する S 偏光成分のうちの一方の偏光成分を選択的に透過または選択的に反射する偏光選択手段をさらに備えていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

## 【請求項 7】

前記ビームスプリッターからの前記反射光または前記透過光の一部を反射または透過させるための第 2 ビームスプリッターと、該第 2 ビームスプリッターからの反射光または透過光の強度を検出するための第 2 光強度検出器とをさらに備え、

前記第 2 ビームスプリッターは、前記ビームスプリッターに対する P 偏光が前記第 2 ビームスプリッターに対する S 偏光になり且つ前記ビームスプリッターに対する S 偏光が前記第 2 ビームスプリッターに対する P 偏光になるように設定され、

前記第 2 光強度検出器の出力に基づいて、前記ビームスプリッターへの入射光の偏光状態の変化の影響を実質的に受けることなく、前記ビームスプリッターへの前記入射光の光量を検知することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

40

## 【請求項 8】

前記光源部と前記ビームスプリッターとの間の光路中に配置されて、前記被照射面を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えるための偏光状態切換手段をさらに備え、

前記光強度検出器の出力に基づいて前記偏光状態切換手段を調整することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

## 【請求項 9】

マスクを照明するための請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置を備え、前記マスクのパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光装置。

## 【請求項 10】

前記ビームスプリッターは、前記光源部と前記マスクとの間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項 9 に記載の露光装置。

50

## 【請求項 11】

光源部からの光に基づいてマスクを照明し、前記マスクのパターンを感光性基板上に露光する露光装置において、

前記光源部からの光の光路中から前記光を取り出して、該取り出された光の偏光状態を検知するための偏光モニターを備えていることを特徴とする露光装置。

## 【請求項 12】

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置を介してマスクを照明し、照明された前記マスクに形成されたパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光方法。

## 【請求項 13】

光源部からの光に基づいてマスクを照明する工程と、

前記マスクのパターンを感光性基板上に露光する工程と、

前記光源部からの光の光路中から前記光を取り出して、取り出された光の偏光状態を検知する工程と、

を含むことを特徴とする露光方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、照明光学装置、露光装置および露光方法に関し、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィー工程で製造するための露光装置に好適な照明光学装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光束が、オプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズ（またはマイクロフライアイレンズ）を介して、多数の光源からなる実質的な面光源としての二次光源を形成する。二次光源からの光束は、フライアイレンズの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレンズに入射する。

## 【0003】

コンデンサーレンズにより集光された光束は、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介してウェハ上に結像する。こうして、ウェハ上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

## 【0004】

そこで、フライアイレンズの後側焦点面に円形状の二次光源を形成し、その大きさを変化させて照明のコヒーレンシィ  $\sigma$ （ $\sigma$  値 = 開口絞り径 / 投影光学系の瞳径、あるいは  $\sigma$  値 = 照明光学系の射出側開口数 / 投影光学系の入射側開口数）を変化させる技術が注目されている。また、フライアイレンズの後側焦点面に輪帯状や 4 極状などの二次光源を形成し、投影光学系の焦点深度や解像力を向上させる技術が注目されている。

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

上述のような従来の露光装置では、マスクのパターン特性に応じて、円形状の二次光源に基づく通常の円形照明を行ったり、輪帯状や 4 極状の二次光源に基づく変形照明（輪帯照明や 4 極照明）を行ったりしている。しかしながら、マスクのパターン特性に応じてマスクを照明する光の偏光状態を変化させることはなく、非偏光状態の光でマスクを照明するのが通常であり、マスクのパターンを忠実に転写するために必要な適切な照明条件を必ずしも実現することができない。

## 【0006】

10

20

30

40

50

そこで、マスクパターンを忠実に転写するのに必要な適切な照明条件を実現するために、マスクを照明する光の状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換える構成が考えられる。具体的には、たとえば照明光の状態を非偏光状態に設定することにより、縦方向と横方向との間にパターンの線幅差を発生させることなく、線幅の比較的大きい二次元パターンを高スループットで露光することが考えられる。また、たとえば2極照明などにおいて照明光の状態を直線偏光状態に設定することにより、所定のピッチ方向を有する線幅の細いパターンに対する結像性能（焦点深度）の向上を図ることが考えられる。

#### 【0007】

この場合、たとえば円形照明や輪帯照明などにおいて、残存偏光度が十分に低いような所望の非偏光状態が実現されないと、縦方向と横方向との間にパターンの線幅差が発生してしまう。また、たとえば2極照明などにおいて、所定方向に偏光面を有する所望の直線偏光状態が実現されないと、特定のピッチ方向を有する線幅の細いパターンに対する結像性能の向上を図ることができなくなってしまう。

10

#### 【0008】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、比較的簡素でコンパクトな構成に基づいて照明光の偏光状態を検知することのできる照明光学装置を提供することを目的とする。また、本発明は、照明光の偏光状態を検知することのできる照明光学装置を用いて、マスクのパターン特性に応じて実現された適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

20

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0009】

前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、光源部からの光で被照射面を照明する照明光学装置において、

前記光源部と前記被照射面との間の光路中に配置されて、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光または透過光を前記光路から取り出すためのビームスプリッターと、

前記ビームスプリッターにより前記光路から取り出された前記反射光または前記透過光の強度を検出するための光強度検出器とを備え、

前記光強度検出器の出力に基づいて前記ビームスプリッターへの前記入射光の偏光状態を検知することを特徴とする照明光学装置を提供する。

30

#### 【0010】

第1形態の好ましい態様によれば、前記ビームスプリッターは、前記反射光または前記透過光に含まれるP偏光の強度 $I_p$ とS偏光の強度 $I_s$ との強度比 $I_p/I_s$ が $I_p/I_s < 1/2$ または $I_p/I_s > 2$ の条件を満たすような反射特性または透過特性を有する。また、前記ビームスプリッターと前記被照射面との間の光路中には、光の偏光状態を変化させる光学部材が配置されていないことが好ましい。この場合、前記光学部材は、たとえば蛍石により形成された光透過部材である。また、前記ビームスプリッターは、平行平面板の形態を有することが好ましい。第1形態の好ましい態様によれば、前記ビームスプリッターと前記光強度検出器との間の光路中に配置されて、前記ビームスプリッターに対するP偏光成分および前記ビームスプリッターに対するS偏光成分のうちの一方の偏光成分を選択的に透過または選択的に反射する偏光選択手段をさらに備えていることが好ましい。

40

#### 【0011】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記ビームスプリッターからの前記反射光または前記透過光の一部を反射または透過させるための第2ビームスプリッターと、該第2ビームスプリッターからの反射光または透過光の強度を検出するための第2光強度検出器とをさらに備え、前記第2ビームスプリッターは、前記ビームスプリッターに対するP偏光が前記第2ビームスプリッターに対するS偏光になり且つ前記ビームスプリッターに対するS偏光が前記第2ビームスプリッターに対するP偏光になるように設定され、前記第2光強度検出器の出力に基づいて、前記ビームスプリッターへの入射光の偏光状態の変化の影響を実質的に受けることなく、前記ビームスプリッターへの前記入射光の光量を検知

50

する。なお、前記第2ビームスプリッターは、前記偏光選択手段であることが好ましい。

【0012】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記光源部と前記ビームスプリッターとの間の光路中に配置されて、前記被照射面を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えるための偏光状態切換手段をさらに備え、前記光強度検出器の出力に基づいて前記偏光状態切換手段を調整する。

【0013】

本発明の第2形態では、マスクを照明するための第1形態の照明光学装置を備え、前記マスクのパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光装置を提供する。第2形態の好ましい態様によれば、前記ビームスプリッターは、前記光源部と前記マスクとの間の光路中に配置される。また、本発明の第3形態では、光源部からの光に基づいてマスクを照明し、前記マスクのパターンを感光性基板上に露光する露光装置であって、前記光源部からの光の光路中から前記光を取り出して、該取り出された光の偏光状態を検知するための偏光モニターを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

10

【0014】

本発明の第4形態では、第1形態の照明光学装置を介してマスクを照明し、照明された前記マスクに形成されたパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光方法を提供する。また、本発明の第5形態では、光源部からの光に基づいてマスクを照明する工程と、前記マスクのパターンを感光性基板上に露光する工程と、前記光源部からの光の光路中から前記光を取り出して、取り出された光の偏光状態を検知する工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。

20

【発明の効果】

【0015】

本発明の照明光学装置では、ビームスプリッターにより入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の光を光路から取り出し、光路から取り出した光の強度を検出することにより、ビームスプリッターへの入射光の偏光状態を検知することができる。すなわち、本発明では、比較的簡素でコンパクトな構成に基づいて照明光の偏光状態を検知することができる照明光学装置を実現することができる。

【0016】

また、本発明の照明光学装置を用いる露光装置および露光方法では、比較的簡素でコンパクトな構成に基づいて照明光の偏光状態を検知し、照明光の状態を所望の偏光状態に調整して、適切な照明条件を実現することができる。その結果、マスクのパターン特性に応じて実現された適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができ、ひいては高いスループットで良好なデバイスを製造することができる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

図1は、本発明の実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。図1において、感光性基板であるウェハWの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハ面内において図1の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハ面内において図1の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。なお、図1では、照明光学装置が輪帯照明を行うように設定されている。

40

【0018】

本実施形態の露光装置は、露光光（照明光）を供給するためのレーザ光源1を備えている。レーザ光源1として、たとえば193nmの波長の光を供給するArFエキシマレーザ光源を用いることができる。レーザ光源1からZ方向に沿って射出されたほぼ平行な光束は、X方向に沿って細長く伸びた矩形状の断面を有し、一対のレンズ2aおよび2bからなるビームエキスパンダ2に入射する。各レンズ2aおよび2bは、図1の紙面内（YZ平面内）において負の屈折力および正の屈折力をそれぞれ有する。したがって、ビームエキスパンダ2に入射した光束は、図1の紙面内において拡大され、所定の矩形状の断面

50

を有する光束に整形される。

【0019】

整形光学系としてのビームエキスパンダ2を介したほぼ平行な光束は、折り曲げミラー3でY方向に偏向された後、位相部材20、デポラライザ(非偏光化素子)21、および回折光学素子4を介して、アフォーカルズームレンズ5に入射する。位相部材20およびデポラライザ21の構成および作用については後述する。一般に、回折光学素子は、基板に露光光(照明光)の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。具体的には、回折光学素子4は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、そのファーフィールド(またはフラウンホーファー回折領域)に円形状の光強度分布を形成する機能を有する。

10

【0020】

したがって、回折光学素子4を介した光束は、アフォーカルズームレンズ5の瞳位置に円形状の光強度分布、すなわち円形状の断面を有する光束を形成する。回折光学素子4は、照明光路から退避可能に構成されている。アフォーカルズームレンズ5は、アフォーカル系(無焦点光学系)を維持しながら所定の範囲で倍率を連続的に変化させることができるように構成されている。アフォーカルズームレンズ5を介した光束は、輪帯照明用の回折光学素子6に入射する。アフォーカルズームレンズ5は、回折光学素子4の発散原点と回折光学素子6の回折面とを光学的にほぼ共役に結んでいる。そして、回折光学素子6の回折面またはその近傍の面の一点に集光する光束の開口数は、アフォーカルズームレンズ5の倍率に依存して変化する。

20

【0021】

輪帯照明用の回折光学素子6は、平行光束が入射した場合に、そのファーフィールドにリング状の光強度分布を形成する機能を有する。回折光学素子6は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ4極照明用の回折光学素子60や円形照明用の回折光学素子61やX方向2極照明用の回折光学素子62やY方向2極照明用の回折光学素子63と切り換え可能に構成されている。4極照明用の回折光学素子60、円形照明用の回折光学素子61、X方向2極照明用の回折光学素子62、およびY方向2極照明用の回折光学素子63の構成および作用については後述する。

30

【0022】

回折光学素子6を介した光束は、ズームレンズ7に入射する。ズームレンズ7の後側焦点面の近傍には、マイクロフライアイレンズ(またはフライアイレンズ)8の入射面が位置決めされている。マイクロフライアイレンズ8は、縦横に且つ稠密に配列された多数の正屈折力を有する微小レンズからなる光学素子である。一般に、マイクロフライアイレンズは、たとえば平行平面板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。

30

【0023】

ここで、マイクロフライアイレンズを構成する各微小レンズは、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロフライアイレンズは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズ(微小屈折面)が互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズ要素が縦横に配置されている点でマイクロフライアイレンズはフライアイレンズと同じ波面分割型のオプティカルインテグレータである。

40

【0024】

上述したように、回折光学素子4を介してアフォーカルズームレンズ5の瞳位置に形成される円形状の光強度分布からの光束は、アフォーカルズームレンズ5から射出された後、様々な角度成分を有する光束となって回折光学素子6に入射する。すなわち、回折光学素子4は、角度光束形成機能を有するオプティカルインテグレータを構成している。一方、回折光学素子6は、平行光束が入射した場合に、そのファーフィールドにリング状の光強度分布を形成する光束変換素子としての機能を有する。したがって、回折光学素子6を介した光束は、ズームレンズ7の後側焦点面に(ひいてはマイクロフライアイレンズ8の

50

入射面に）、たとえば光軸AXを中心とした輪帶状の照野を形成する。

【0025】

マイクロフライアイレンズ8の入射面に形成される輪帶状の照野の外径は、ズームレンズ7の焦点距離に依存して変化する。このように、ズームレンズ7は、回折光学素子6とマイクロフライアイレンズ8の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に結んでいる。マイクロフライアイレンズ8に入射した光束は二次元的に分割され、マイクロフライアイレンズ8の後側焦点面には、図2(a)に示すように、入射光束によって形成される照野と同じ輪帶状の多数光源（以下、「二次光源」という）が形成される。

【0026】

マイクロフライアイレンズ8の後側焦点面に形成された輪帶状の二次光源からの光束は、ビームスプリッター31およびコンデンサー光学系9を介した後、マスクブラインド10を重疊的に照明する。こうして、照明視野絞りとしてのマスクブラインド10には、マイクロフライアイレンズ8を構成する各微小レンズの形状と焦点距離とに応じた矩形状の照野が形成される。なお、ビームスプリッター31を内蔵する偏光モニター30の内部構成および作用については後述する。

10

【0027】

マスクブラインド10の矩形状の開口部（光透過部）を介した光束は、結像光学系11の集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたマスク（レチクル）Mを重疊的に照明する。こうして、結像光学系11は、マスクブラインド10の矩形状開口部の像をマスクM上に形成することになる。マスクMのパターンを透過した光束は、投影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上にマスクパターンの像を形成する。こうして、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面内においてウェハWを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハWの各露光領域にはマスクMのパターンが逐次露光される。

20

【0028】

本実施形態では、アフォーカルズームレンズ5の倍率が変化すると、輪帶状の二次光源の中心高さ（円形状の中心線の光軸AXからの距離）d0が変化することなく、その幅（外径（直径）と内径（直径）との差の1/2）w0だけが変化する。すなわち、アフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させることにより、輪帶状の二次光源の大きさ（外径）およびその形状（輪帶比：内径/外径）をともに変更することができる。

30

【0029】

また、ズームレンズ7の焦点距離が変化すると、輪帶状の二次光源の輪帶比が変化することなく、中心高さd0およびその幅w0がともに変化する。すなわち、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、輪帶状の二次光源の輪帶比を変更することなくその外径を変更することができる。以上より、本実施形態では、アフォーカルズームレンズ5の倍率とズームレンズ7の焦点距離とを適宜変化させることにより、輪帶状の二次光源の外径を変化させることなくその輪帶比だけを変更することができる。

【0030】

なお、回折光学素子6に代えて回折光学素子60を照明光路中に設定することによって4極照明を行うことができる。4極照明用の回折光学素子60は、平行光束が入射した場合に、そのファーフィールドに4点状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子60を介した光束は、マイクロフライアイレンズ8の入射面に、たとえば光軸AXを中心とした4つの円形状の照野からなる4極状の照野を形成する。その結果、図2(b)に示すように、マイクロフライアイレンズ8の後側焦点面にも、その入射面に形成された照野と同じ4極状の二次光源が形成される。

40

【0031】

4極照明においても輪帶照明の場合と同様に、アフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させることにより、4極状の二次光源の外径（4つの円形状の面光源に外接する円の直径）D0および輪帶比（4つの円形状の面光源に内接する円の直径Di/4つの円形状の面光源に外接する円の直径D0）をともに変更することができる。また、ズームレンズ7

50

の焦点距離を変化させることにより、4極状の二次光源の輪帶比を変更することなくその外径を変更することができる。その結果、アフォーカルズームレンズ5の倍率とズームレンズ7の焦点距離とを適宜変化させることにより、4極状の二次光源の外径を変化させることなくその輪帶比だけを変更することができる。

#### 【0032】

また、回折光学素子4を照明光路から退避させるとともに、回折光学素子6または60に代えて円形照明用の回折光学素子61を照明光路中に設定することによって、通常の円形照明を行うことができる。この場合、アフォーカルズームレンズ5には光軸AXに沿って矩形状の断面を有する光束が入射する。アフォーカルズームレンズ5に入射した光束は、その倍率に応じて拡大または縮小され、矩形状の断面を有する光束のまま光軸AXに沿ってアフォーカルズームレンズ5から射出され、回折光学素子61に入射する。

10

#### 【0033】

ここで、円形照明用の回折光学素子61は、回折光学素子4と同様に、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、ファーフィールドに円形状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子61により形成された円形光束は、ズームレンズ7を介して、マイクロフライアイレンズ8の入射面において光軸AXを中心とした円形状の照野を形成する。その結果、マイクロフライアイレンズ8の後側焦点面にも、光軸AXを中心とした円形状の二次光源が形成される。この場合、アフォーカルズームレンズ5の倍率またはズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、円形状の二次光源の外径を適宜変更することができる。

20

#### 【0034】

さらに、回折光学素子6、60または61に代えて回折光学素子62を照明光路中に設定することによってX方向2極照明を行うことができる。X方向2極照明用の回折光学素子62は、平行光束が入射した場合に、そのファーフィールドに、X方向に沿って間隔を隔てた2点状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子62を介した光束は、マイクロフライアイレンズ8の入射面に、たとえば光軸AXを中心としてX方向に沿って間隔を隔てた2つの円形状の照野からなる2極状の照野を形成する。その結果、図3(a)に示すように、マイクロフライアイレンズ8の後側焦点面にも、その入射面に形成された照野と同じX方向に沿った2極状の二次光源が形成される。

30

#### 【0035】

また、回折光学素子6、60、61または62に代えて回折光学素子63を照明光路中に設定することによってY方向2極照明を行うことができる。Y方向2極照明用の回折光学素子63は、平行光束が入射した場合に、そのファーフィールドに、Z方向(マスク上およびウェハ上においてY方向に対応)に沿って間隔を隔てた2点状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子63を介した光束は、マイクロフライアイレンズ8の入射面に、たとえば光軸AXを中心としてZ方向に沿って間隔を隔てた2つの円形状の照野からなる2極状の照野を形成する。その結果、図3(b)に示すように、マイクロフライアイレンズ8の後側焦点面にも、その入射面に形成された照野と同じZ方向に沿った2極状の二次光源が形成される。

40

#### 【0036】

2極照明においても4極照明の場合と同様に、アフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させることにより、2極状の二次光源の外径(2つの円形状の面光源に外接する円の直径)doおよび輪帶比(2つの円形状の面光源に内接する円の直径di/2つの円形状の面光源に外接する円の直径do)をともに変更することができる。また、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、2極状の二次光源の輪帶比を変更することなくその外径を変更することができる。その結果、アフォーカルズームレンズ5の倍率とズームレンズ7の焦点距離とを適宜変化させることにより、2極状の二次光源の外径を変化させることなくその輪帶比だけを変更することができる。

#### 【0037】

図4は、図1の位相部材およびデポラライザの構成を概略的に示す図である。図4を参

50

照すると、位相部材 20 は、光軸 AX を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された 1/2 波長板により構成されている。一方、デポラライザ 21 は、楔形状の水晶プリズム 21 a と、この水晶プリズム 21 a と相補的な形状を有する楔形状の石英プリズム 21 b により構成されている。水晶プリズム 21 a と石英プリズム 21 b とは、一体的なプリズム組立体として、照明光路に対して挿脱自在に構成されている。なお、図 1 に示すように、1/2 波長板 20 の光軸 AX を中心とした回転およびデポラライザ 21 の照明光路に対する挿脱などは、制御系 40 からの指令を受けた駆動系 22 によって行われる。

#### 【0038】

レーザ光源 1 として Ar F エキシマレーザ光源を用いる場合、1/2 波長板 20 には直線偏光の光が入射する。ここで、1/2 波長板 20 の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して 0 度または 90 度の角度をなすように設定された場合、1/2 波長板 20 に入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過する。また、1/2 波長板 20 の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して 45 度の角度をなすように設定された場合、1/2 波長板 20 に入射した直線偏光の光は偏光面が 90 度だけ変化した直線偏光の光に変換される。さらに、水晶プリズム 21 a の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して 45 度の角度をなすように設定された場合、水晶プリズム 21 a に入射した直線偏光の光は非偏光状態の光に変換（非偏光化）される。

10

#### 【0039】

本実施形態では、駆動系 22 がデポラライザ 21 を照明光路中に設定するとき、水晶プリズム 21 a の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して 45 度の角度をなすように位置決めする。ちなみに、水晶プリズム 21 a の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して 0 度または 90 度の角度をなすように設定された場合、水晶プリズム 21 a に入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過する。また、1/2 波長板 20 の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して 22.5 度の角度をなすように設定された場合、1/2 波長板 20 に入射した直線偏光の光は、偏光面が変化することなくそのまま通過する直線偏光成分と偏光面が 90 度だけ変化した直線偏光成分とを含む非偏光状態の光に変換される。

20

#### 【0040】

本実施形態では、上述したように、レーザ光源 1 からの直線偏光の光が 1/2 波長板 20 に入射するが、以下の説明を簡単にするために、P 偏光の光が 1/2 波長板 20 に入射するものとする。この場合、駆動系 22 がデポラライザ 21 を照明光路中に挿入するとともに、1/2 波長板 20 の結晶光学軸が入射する P 偏光の偏光面に対して 0 度または 90 度の角度をなすように設定すると、1/2 波長板 20 に入射した P 偏光の光は偏光面が変化することなく P 偏光のまま通過して水晶プリズム 21 a に入射する。水晶プリズム 21 a の結晶光学軸は入射する P 偏光の偏光面に対して 45 度の角度をなすように駆動系 22 により設定されているので、水晶プリズム 21 a に入射した P 偏光の光は非偏光状態の光に変換される。

30

#### 【0041】

水晶プリズム 21 a を介して非偏光化された光は、光の進行方向を補償するためのコンペニセータとしての石英プリズム 21 b を介して、非偏光状態でマスク M（ひいてはウェハ W）を照明する。一方、駆動系 22 がデポラライザ 21 を照明光路中に挿入するとともに、1/2 波長板 20 の結晶光学軸が入射する P 偏光の偏光面に対して 45 度の角度をなすように設定すると、1/2 波長板 20 に入射した P 偏光の光は偏光面が 90 度だけ変化し、S 偏光の光になって水晶プリズム 21 a に入射する。水晶プリズム 21 a の結晶光学軸は入射する S 偏光の偏光面に対しても 45 度の角度をなすように駆動系 22 により設定されているので、水晶プリズム 21 a に入射した S 偏光の光は非偏光状態の光に変換され、石英プリズム 21 b を介して、非偏光状態でマスク M を照明する。

40

#### 【0042】

これに対し、駆動系 22 がデポラライザ 21 を照明光路から退避させるとともに、1/2 波長板 20 の結晶光学軸が入射する P 偏光の偏光面に対して 0 度または 90 度の角度を

50

なすように設定すると、1/2波長板20に入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過し、P偏光状態の光でマスクMを照明する。一方、駆動系22がデポラライザ21を照明光路から退避させるとともに、1/2波長板20の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板20に入射したP偏光の光は偏光面が90度だけ変化してS偏光の光になり、S偏光状態の光でマスクMを照明する。

【0043】

以上のように、本実施形態では、駆動系22がデポラライザ21を照明光路中に挿入して位置決めすることにより、非偏光状態でマスクMを照明することができる。また、駆動系22がデポラライザ21を照明光路から退避させ且つ1/2波長板20の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定することにより、P偏光状態でマスクMを照明することができる。さらに、駆動系22がデポラライザ21を照明光路から退避させ且つ1/2波長板20の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度をなすように設定することにより、S偏光状態でマスクMを照明することができる。

10

【0044】

換言すれば、本実施形態では、1/2波長板20とデポラライザ21とからなる偏光状態切換手段の作用により、被照射面としてのマスクM（ひいてはウェハW）を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることができ、直線偏光の光で照明する場合にはP偏光状態とS偏光状態との間で切り換える（直線偏光の偏光面を可変とする）ことができる。その結果、本実施形態では、マスクMのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させて適切な照明条件を実現することができるので、マスクMのパターン特性に応じて実現された適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができる。

20

【0045】

具体的には、たとえばX方向2極照明に設定するとともに、マスクM上においてX方向に沿って偏光面を有する直線偏光状態の光でマスクMを照明することにより、ウェハW上のクリティカルレイヤにおけるX方向に沿った線幅の非常に小さいパターンを忠実に露光することができる。次いで、たとえばY方向2極照明に切り換えるとともに、マスクM上においてY方向に沿って偏光面を有する直線偏光状態の光でマスクMを照明することにより、ウェハW上の同じクリティカルレイヤにおけるY方向に沿った線幅の非常に小さいパターンを忠実に露光することができる。

30

【0046】

さらに、クリティカルレイヤにおける二重露光が終了した後に、たとえば2極照明のままで、あるいは4極照明や輪帯照明や円形照明に切り換えるとともに、非偏光状態の光でマスクMを照明することにより、ウェハW上のノンクリティカルレイヤ（ミドルレイヤまたはラフレイヤ）における線幅の比較的大きい二次元パターンを高スループットで露光することができる。ただし、これは一例であって、一般的には、マスクMのパターン特性に応じて、二次光源の適切な形状または大きさを設定し、且つマスクMを照明する光を適切な偏光状態に設定することにより、適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができる。

40

【0047】

実際に、P偏光の光線が斜入射する場合とS偏光の光線が斜入射する場合とでは、ウェハW上に形成されたレジスト層の表面における散乱が異なる。具体的には、S偏光の方がP偏光よりも反射率が高く、したがってP偏光の方がS偏光よりもレジスト層の内部へ深く達する。このようなレジスト層に対するP偏光とS偏光との光学特性の相違を利用し、マスクMのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させて適切な照明条件を実現すれば、適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことになる。

【0048】

しかしながら、前述したように、たとえば円形照明や輪帯照明などにおいて、残存偏光度が十分に低いような所望の非偏光状態が実現されないと、縦方向と横方向との間にパタ

50

ーンの線幅差が発生してしまう。また、たとえば2極照明などにおいて、所定方向に偏光面を有する所望の直線偏光状態が実現されないと、特定のピッチ方向を有する線幅の細いパターンに対する結像性能の向上を図ることができなくなってしまう。そこで、本実施形態では、被照射面としてのマスクM(ひいてはウェハW)を照明する光の偏光状態を検知するための偏光モニター30を備えている。

#### 【0049】

図5は、図1の偏光モニターの内部構成を概略的に示す斜視図である。本実施形態の偏光モニター30は、図1に示すように、マイクロフライアイレンズ8とコンデンサー光学系9との間の光路中に配置された第1ビームスプリッター31を備えている。第1ビームスプリッター31は、たとえば石英ガラスにより形成されたノンコートの平行平面板(すなわち素ガラス)の形態を有し、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光を光路から取り出す機能を有する。

10

#### 【0050】

図5を参照すると、第1ビームスプリッター31により光路から取り出された光は、第2ビームスプリッター32に入射する。第2ビームスプリッター32は、第1ビームスプリッター31と同様に、たとえば石英ガラスにより形成されたノンコートの平行平面板の形態を有し、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光を発生させる機能を有する。そして、第1ビームスプリッター31に対するP偏光が第2ビームスプリッター32に対するS偏光になり、且つ第1ビームスプリッター31に対するS偏光が第2ビームスプリッター32に対するP偏光になるように設定されている。

20

#### 【0051】

また、第2ビームスプリッター32を透過した光は第1光強度検出器33により検出され、第2ビームスプリッター32で反射された光は第2光強度検出器34により検出される。第1光強度検出器33および第2光強度検出器34の出力は、それぞれ制御系40(図1を参照)に供給される。また、前述したように、制御系40は、駆動系22を介して、偏光状態切換手段を構成する1/2波長板20およびデポラライザ21を駆動する。

30

#### 【0052】

上述のように、第1ビームスプリッター31および第2ビームスプリッター32において、P偏光に対する反射率とS偏光に対する反射率とが実質的に異なっている。したがって、本実施形態の偏光モニター30では、第1ビームスプリッター31からの反射光が、たとえば第1ビームスプリッター31への入射光の10%程度のS偏光成分(第1ビームスプリッター31に対するS偏光成分であって第2ビームスプリッター32に対するP偏光成分)と、たとえば第1ビームスプリッター31への入射光の1%程度のP偏光成分(第1ビームスプリッター31に対するP偏光成分であって第2ビームスプリッター32に対するS偏光成分)とを含むことになる。

40

#### 【0053】

また、第2ビームスプリッター32からの反射光は、たとえば第1ビームスプリッター31への入射光の $10\% \times 1\% = 0.1\%$ 程度のP偏光成分(第1ビームスプリッター31に対するP偏光成分であって第2ビームスプリッター32に対するS偏光成分)と、たとえば第1ビームスプリッター31への入射光の $1\% \times 10\% = 0.1\%$ 程度のS偏光成分(第1ビームスプリッター31に対するS偏光成分であって第2ビームスプリッター32に対するP偏光成分)とを含むことになる。

50

#### 【0054】

こうして、本実施形態の偏光モニター30では、第1ビームスプリッター31が、その反射特性に応じて、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光を光路から取り出す機能を有する。その結果、第2ビームスプリッター32の偏光特性による偏光変動の影響を僅かに受けるものの、第1光強度検出器33の出力(第2ビームスプリッター32の透過光の強度に関する情報、すなわち第1ビームスプリッター31からの反射光とほぼ同じ偏光状態の光の強度に関する情報)に基づいて、第1ビームスプリッター31への入射光の偏光状態(偏光度)を、ひいてはマスクMへの照明光の偏光状態を検知することができる

。

## 【0055】

また、本実施形態の偏光モニター30では、第1ビームスプリッター31に対するP偏光が第2ビームスプリッター32に対するS偏光になり且つ第1ビームスプリッター31に対するS偏光が第2ビームスプリッター32に対するP偏光になるように設定されている。その結果、第2光強度検出器34の出力（第1ビームスプリッター31および第2ビームスプリッター32で順次反射された光の強度に関する情報）に基づいて、第1ビームスプリッター31への入射光の偏光状態の変化の影響を実質的に受けることなく、第1ビームスプリッター31への入射光の光量（強度）を、ひいてはマスクMへの照明光の光量を検知することができる。

10

## 【0056】

こうして、本実施形態では、偏光モニター30を用いて、第1ビームスプリッター31への入射光の偏光状態を検知し、ひいてはマスクMへの照明光が所望の非偏光状態または直線偏光状態になっているか否かを判定することができる。そして、制御系40が偏光モニター30の検知結果に基づいてマスクM（ひいてはウェハW）への照明光が所望の非偏光状態または直線偏光状態になつてないことを確認した場合、駆動系22を介して偏光状態切換手段を構成する1/2波長板20およびデポラライザ21を駆動調整し、マスクMへの照明光の状態を所望の非偏光状態または直線偏光状態に調整することができる。

20

## 【0057】

以上のように、本実施形態では、比較的簡素でコンパクトな構成を有する偏光モニター30を用いて、マスクM（ひいてはウェハW）への照明光の偏光状態を検知し、照明光の状態を所望の偏光状態に調整して、適切な照明条件を実現することができる。その結果、本実施形態では、マスクMのパターン特性に応じて実現された適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができ、ひいては高いスループットで良好なデバイスを製造することができる。

30

## 【0058】

なお、上述の実施形態において、第1ビームスプリッター31からの反射光が第1光強度検出器33に直接入射するように構成すれば、第1光強度検出器33の出力が第2ビームスプリッター32の偏光特性による偏光変動の影響を受けることなく、第1ビームスプリッター31への入射光の偏光状態を高精度に検知することができる。

30

## 【0059】

また、上述の実施形態において、第1ビームスプリッター31への入射光の偏光状態を高精度に検知するには、第1ビームスプリッター31および第2ビームスプリッター32が、P偏光に対する反射率とS偏光に対する反射率とが十分に異なるような反射特性を有することが好ましい。具体的には、第1ビームスプリッター31の反射光に含まれるP偏光の強度I<sub>p</sub>とS偏光の強度I<sub>s</sub>との強度比I<sub>p</sub>/I<sub>s</sub>がI<sub>p</sub>/I<sub>s</sub><1/2またはI<sub>p</sub>/I<sub>s</sub>>2の条件を満たすような反射特性を有することが好ましい。

40

## 【0060】

また、上述の実施形態では、平行平面板の形態を有するビームスプリッターを使用し、その反射光を光路から取り出している。しかしながら、これに限定されることなく、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の透過光を光路から取り出すビームスプリッターを用い、当該ビームスプリッターにより光路から取り出された透過光の強度に基づいて、当該ビームスプリッターへの入射光の偏光状態を検知することもできる。この場合、当該ビームスプリッターの反射光に含まれるP偏光の強度I<sub>p</sub>とS偏光の強度I<sub>s</sub>との強度比I<sub>p</sub>/I<sub>s</sub>がI<sub>p</sub>/I<sub>s</sub><1/2またはI<sub>p</sub>/I<sub>s</sub>>2の条件を満たすような透過特性を有することが好ましい。

40

## 【0061】

図6は、変形例にかかる偏光モニターの内部構成を概略的に示す斜視図である。図6の変形例にかかる偏光モニター30'は、図5に示す実施形態にかかる偏光モニター30と類似の構成を有するが、第2ビームスプリッター32と第2光強度検出器34との間に第

50

3ビームスプリッター35が付設されている。ここで、第3ビームスプリッター35は、第1ビームスプリッター31および第2ビームスプリッター32と同様に、例えば石英ガラスにより形成されたノンコートの平行平面板の形態を有し、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光を発生させる機能を有する。

【0062】

そして、第2ビームスプリッター32に対するP偏光（すなわち第1ビームスプリッター31に対するS偏光）が第3ビームスプリッター35に対するS偏光になり、且つ第2ビームスプリッター32に対するS偏光（すなわち第1ビームスプリッター31に対するP偏光）が第3ビームスプリッター35に対するP偏光になるように設定されている。また、第3ビームスプリッター35を透過した光は第2光強度検出器34により検出され、第3ビームスプリッター35で反射された光は第3光強度検出器35により検出される。第3光強度検出器35の出力も、第1光強度検出器33および第2光強度検出器34の出力と同様に、制御系40に供給される。

10

【0063】

変形例にかかる偏光モニター30'では、第3ビームスプリッター35の偏光特性による偏光変動の影響を僅かに受けるものの、第2光強度検出器34の出力に基づいて、第1ビームスプリッター31への入射光の偏光状態の変化の影響を実質的に受けことなく、第1ビームスプリッター31への入射光の光量（強度）を、ひいてはマスクMへの照明光の光量を検知することができる。なお、第3ビームスプリッター35の分割面に誘電体多層膜を設けて、P偏光に対する反射率とS偏光に対する反射率とをほぼ一致させることにより、第3ビームスプリッター35の偏光特性による偏光変動の第2光強度検出器34の出力に対する影響を抑えることができる。

20

【0064】

一方、第3ビームスプリッター35の反射光の強度を検出する第3光強度検出器36の出力は、投影光学系PLにより形成される空間像を検出する空間像検出装置からの信号を規格化するための信号として用いられる。こうして、第3光強度検出器36からの規格化信号の作用により、レーザ光源1からの照明光の発光強度の変動に起因して空間像検出装置の出力誤差が発生するのを防止することができる。なお、空間像検出装置の具体的な構成および作用は、たとえば特開2002-195912号公報に開示されている。

30

【0065】

ところで、レーザ光源1としてArFエキシマレーザ光源を用いる場合、エネルギー密度の高い光の照射を受ける光透過部材に蛍石を用いて所要の耐久性を確保するのが一般的である。この場合、蛍石で形成された光透過部材を透過する際に直線偏光の偏光面が短期的に且つ長期的に変化することがある。したがって、本実施形態では、蛍石で形成された光透過部材を介して直線偏光の偏光面が変化しても水晶プリズム21aが非偏光化素子として機能するように、制御系40が駆動系22を介して水晶プリズム21aの結晶光学軸の向きを調整する必要がある。

30

【0066】

また、第1ビームスプリッター31とマスクMとの間の光路中には、光の偏光状態を変化させる光学部材、たとえば蛍石で形成された光透過部材を配置しないことが好ましい。この構成により、第1ビームスプリッター31への入射光の偏光状態と、マスクM（ひいてはウェハW）への照明光の偏光状態とがほぼ一致し、偏光モニター30または30'の出力に基づいて、マスクMへの照明光の偏光状態を高精度に検知することができる。

40

【0067】

なお、上述の実施形態では、入射する直線偏光の光の偏光面を必要に応じて変化させるための位相部材としての1/2波長板20を光源側に配置し、入射する直線偏光の光を必要に応じて非偏光化するためのデポラライザ21をマスク側に配置している。しかしながら、これに限定されることなく、デポラライザ21を光源側に配置し且つ1/2波長板20をマスク側に配置しても同じ光学的な作用効果を得ることができる。

【0068】

50

また、上述の実施形態では、水晶プリズム21aを介した光の進行方向を補償するためのコンペンセータとして石英プリズム21bを用いている。しかしながら、これに限定されることなく、ArFエキシマレーザ光に対して耐久性の高い光学材料、たとえば水晶や萤石などにより形成された楔形状のプリズムをコンペンセータとして用いていることもできる。

#### 【0069】

また、上述の実施形態では、デポラライザ21を照明光路に対して挿脱自在に構成しているが、デポラライザ21を構成する水晶プリズム21aと石英プリズム21bとが一体的に光軸AXを中心として回転するように構成する変形例も可能である。この場合、1/2波長板20の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板20に入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過して水晶プリズム21aに入射する。このとき、水晶プリズム21aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム21aに入射したP偏光の光は非偏光状態の光に変換され、石英プリズム21bを介して非偏光状態でマスクMを照明する。

10

#### 【0070】

また、水晶プリズム21aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム21aに入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過し、石英プリズム21bを介してP偏光状態でマスクMを照明する。一方、1/2波長板20の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板20に入射したP偏光の光は偏光面が90度だけ変化し、S偏光の光になって水晶プリズム21aに入射する。このとき、水晶プリズム21aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム21aに入射したS偏光の光は非偏光状態の光に変換され、石英プリズム21bを介して非偏光状態でマスクMを照明する。一方、水晶プリズム21aの結晶光学軸が入射するS偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム21aに入射したS偏光の光は偏光面が変化することなくS偏光のまま通過し、石英プリズム21bを介してS偏光状態でマスクMを照明する。

20

#### 【0071】

また、上述の実施形態では、デポラライザ21を照明光路に対して挿脱自在に構成しているが、デポラライザ21を照明光路中に固定的に位置決めする変形例も可能である。この場合、水晶プリズム21aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように位置決めされる。したがって、1/2波長板20の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板20に入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過して水晶プリズム21aに入射する。水晶プリズム21aの結晶光学軸は入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように位置決めされるので、水晶プリズム21aに入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過し、石英プリズム21bを介してP偏光状態でマスクMを照明する。

30

#### 【0072】

また、1/2波長板20の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板20に入射したP偏光の光は偏光面が90度だけ変化し、S偏光の光になって水晶プリズム21aに入射する。水晶プリズム21aの結晶光学軸は入射するS偏光の偏光面に対しても0度または90度の角度をなすように位置決めされるので、水晶プリズム21aに入射したS偏光の光は偏光面が変化することなくS偏光のまま通過し、石英プリズム21bを介してS偏光状態でマスクMを照明する。

40

#### 【0073】

さらに、1/2波長板20の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して22.5度の角度をなすように設定すると、前述したように、1/2波長板20に入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過するP偏光成分と偏光面が90度だけ変化し

50

た S 偏光成分とを含む非偏光状態の光に変換されて、水晶プリズム 21 a に入射する。水晶プリズム 21 a の結晶光学軸は入射する P 偏光成分の偏光面に対しても S 偏光成分の偏光面に対しても 0 度または 90 度の角度をなすように位置決めされるので、水晶プリズム 21 a に入射した P 偏光成分も S 偏光成分も偏光面が変化することなく通過し、石英プリズム 21 b を介して非偏光状態でマスク M を照明する。

#### 【0074】

また、上述の実施形態では、1/2 波長板 20 とデポラライザ 21 とにより偏光状態切換手段を構成しているが、光軸 AX を中心として回転自在なデポラライザ 21 のみにより偏光状態切換手段を構成する変形例も可能である。この場合、水晶プリズム 21 a の結晶光学軸が入射する P 偏光の偏光面に対して 45 度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム 21 a に入射した P 偏光の光は非偏光状態の光に変換され、石英プリズム 21 b を介して非偏光状態でマスク M を照明する。一方、水晶プリズム 21 a の結晶光学軸が入射する P 偏光の偏光面に対して 0 度または 90 度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム 21 a に入射した P 偏光の光は偏光面が変化することなく P 偏光のまま通過し、石英プリズム 21 b を介して P 偏光状態でマスク M を照明する。さらに、偏光状態切換手段についても様々な変形例が可能である。

10

#### 【0075】

ところで、一般に、裏面反射鏡としての直角プリズムに直線偏光が入射する場合、入射する直線偏光の偏光面が P 偏光面または S 偏光面に一致していないと、直角プリズムでの全反射により直線偏光が楕円偏光に変わってしまう。しかしながら、本実施形態の偏光状態切換手段 (20, 21) では、直線偏光が入射することを前提としており、楕円偏光が入射すると所要の作用を奏すことができない。

20

#### 【0076】

そこで、入射する楕円偏光の光を直線偏光の光に変換するための位相部材として、たとえば光軸 AX を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された 1/4 波長板を、偏光状態切換手段において 1/2 波長板 20 の光源側に付設することが好ましい。この場合、たとえば直角プリズムに起因して楕円偏光が偏光状態切換手段 (20, 21) に入射することができる、入射する楕円偏光の特性に応じて 1/4 波長板の結晶光学軸を設定することにより、1/2 波長板 20 に直線偏光を入射させて偏光状態切換手段 (20, 21) の本来の動作を維持することができる。なお、1/4 波長板は、1/2 波長板 20 のマスク側に配置することもできる。なお、上述の実施形態において、光源として波長 193 nm の ArF エキシマレーザ光源を用いる場合、色収差補正やコンパクション低減のために投影光学系 PL 中の光学素子として等軸晶系の結晶材料から形成された光学素子を用いることがある。この場合、周知の手法を用いて投影光学系 PL の偏光収差を補正しておくことが好ましい。このことは、光源として波長 157 nm の F<sub>2</sub> レーザ光源を用いる場合にも同様である。

30

#### 【0077】

上述の実施形態にかかる露光装置では、照明光学装置によってマスク (レチクル) を照明し (照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する (露光工程) ことにより、マイクロデバイス (半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等) を製造することができる。以下、上述の実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図 7 のフローチャートを参照して説明する。

40

#### 【0078】

先ず、図 7 のステップ 301において、1 ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ 302において、その 1 ロットのウェハ上の金属膜上にフォトトレジストが塗布される。その後、ステップ 303において、上述の実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その 1 ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ 304において、その 1 ロットのウェハ上のフ

50

オトレジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

#### 【0079】

また、上述の実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図8のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図8において、パターン形成工程401では、上述の実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィー工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

10

#### 【0080】

次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。

20

#### 【0081】

セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

30

#### 【0082】

また、上述の実施形態では、露光光としてArFエキシマレーザ光（波長：193nm）を用いているが、これに限定されることなく、他の適当なレーザ光源、たとえばKrFエキシマレーザ光（波長：248nm）や、波長157nmのレーザ光を供給するF<sub>2</sub>レーザ光源や、レーザ光源以外の光源、例えばi線やg線、h線等の紫外光を供給するランプ光源に対して本発明を適用することもできる。また、上述の実施形態では、照明光学装置を備えた投影露光装置を例にとって本発明を説明したが、マスク以外の被照射面を照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することは明らかである。

40

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0083】

【図1】本発明の実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】輪帯照明および4極照明において形成される輪帯状の二次光源および4極状の二次光源を示す図である。

【図3】2極照明において形成される2極状の二次光源を示す図である。

【図4】図1の位相部材およびデポラライザの構成を概略的に示す図である。

【図5】図1の偏光モニターの内部構成を概略的に示す斜視図である。

50

【図6】変形例にかかる偏光モニターの内部構成を概略的に示す斜視図である。

【図7】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

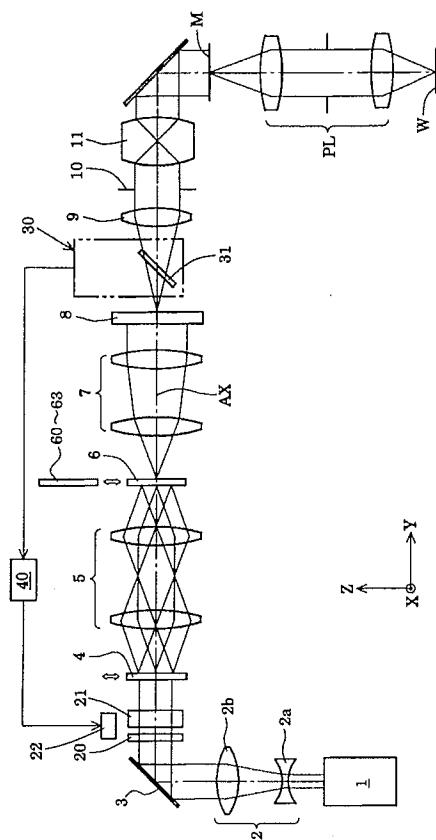
【図8】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

【符号の説明】

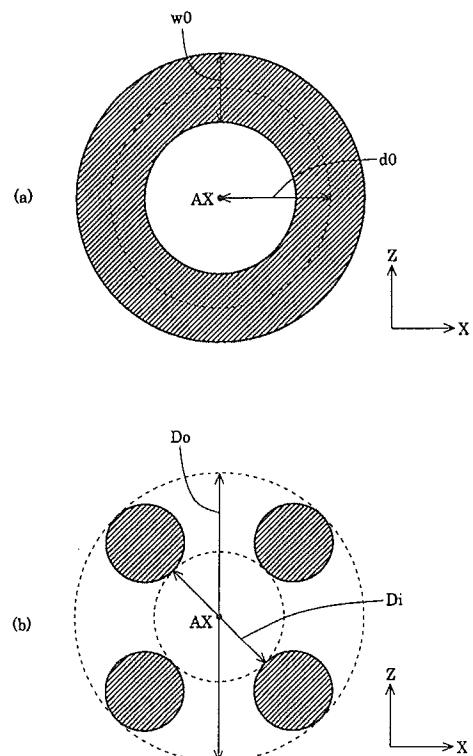
【0084】

1	レーザ光源	
4	回折光学素子（オプティカルインテグレータ）	10
5	アフォーカルズームレンズ	
6, 60~63	回折光学素子	
7	ズームレンズ	
8	マイクロフライアイレンズ	
9	コンデンサー光学系	
10	マスクブラインド	
11	結像光学系	
20	位相部材（1／2波長板）	
21	デポラライザ	
21a	水晶プリズム	
21b	石英プリズム	20
22	駆動系	
30, 30'	偏光モニター	
31, 32, 35	ビームスプリッター	
33, 34, 36	光強度検出器	
40	制御系	
M	マスク	
P L	投影光学系	
W	ウェハ	

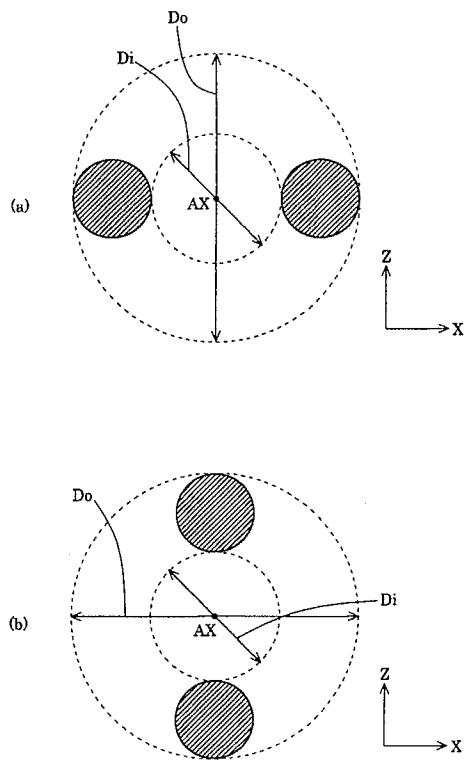
〔図 1 〕



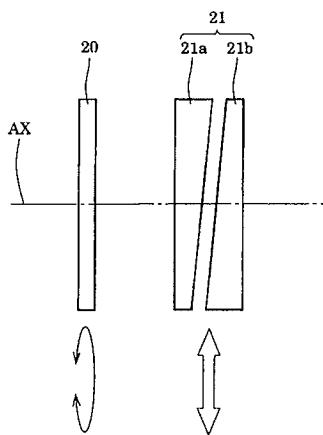
【図2】



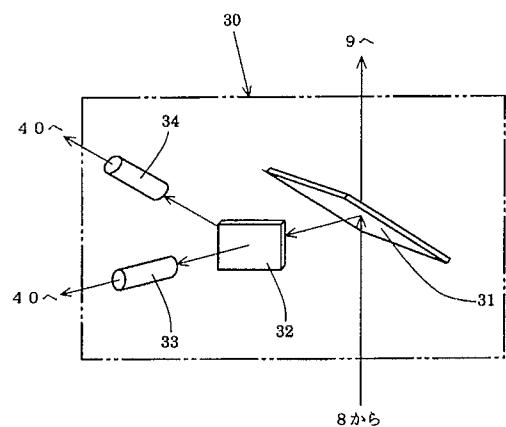
【図3】



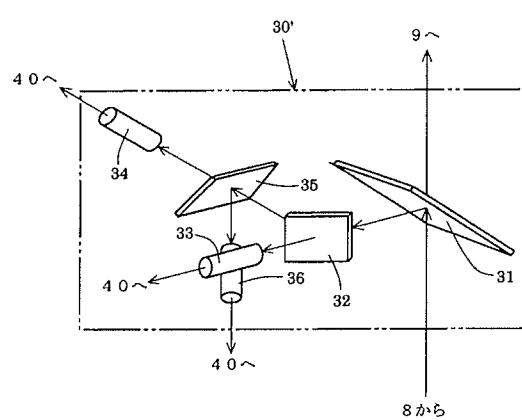
〔図4〕



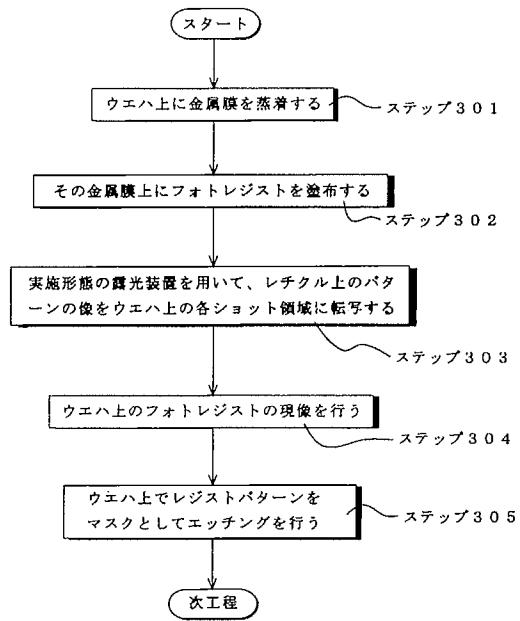
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【図 8】

